

運動及び栄養習慣が身体環境に及ぼす影響— 4 —

(ラットのスプリントトレーニングと膵アミラーゼ活性値)

湊 久美子

緒 言

運動と消化機能の関連については、急性の軽度で適度な運動は促進に、高強度な激運動では抑制に働くことが推察されている¹⁾。しかし、習慣的な運動すなわちトレーニングの影響や膵の外分泌機能についてはほとんど明確ではない。Kuznetsov²⁾は胃及び膵の外分泌機能を種々の競技スポーツ選手について検討し、短時間に大きなエネルギー供給が必要な持久的スポーツ種目の選手ではこれらの機能は向上しており、体重の維持や急性の減量が必要な種目の選手では低下傾向であることを報告した。Zsinkaら³⁾はラットに自発運動のトレーニングを実施し、膵消化酵素活性値及び分泌活性値の増大を認めた。しかし、トレーニングの内容や摂食との関連など、検討すべき点は多い。

そこで、今回、高強度、短時間の運動の繰り返しであるスプリント走をトレーニングに用いてコントロール群と膵組織中の消化酵素活性値を比較し、習慣的な運動と消化機能の関連について検討した。

方 法

実験動物及び飼育：実験に用いた動物は11週齢のWistar系雄性ラット20例で、2週間の予備飼育・トレーニングの後に体重が均等になるようにトレーニング群（T群）、コントロール群（C群）の2群に分け、日本クレア社製のマウス・ラット用固形飼料及び水道水の自由摂取にて飼育した。室内は約23°C、7：00点灯19：00消灯の12時間明暗サイクルで飼育した。

トレーニング及び実験手順：トレーニングと実験手順は概ねDaviesら⁴⁾の方法に従った。トレーニングとしてT群には週に5日、1日1回、65m/分×30～40秒×5本のスプリント走（20～30秒休息）を、C群には急性運動を可能にする目的で週に2日、1日1回、1回5分の27m/分の連続走をそれぞれ傾斜20%の小動物用トレッドミルを用いて負荷し、約5週間経

続した。

トレーニング終了後、第1日目にBedfordら⁵⁾の方法を用いて最大酸素摂取量を測定し、第2日目に95% $\dot{V}O_{2max}$ に相当する走速度で疲労困憊に至るまでの運動の持続時間を測定し、第3日目の安静時にペントバルビタール麻酔下で開腹し、腹部大静脈より採血した後、全腓組織及び骨格筋組織を摘出した。尚、実験はすべて明期に行った。

生化学的測定：腓組織はその一部に生理食塩水を加えて氷冷下でホモジナイズし、0℃、9000回転、30分間遠心分離後その上清中のアミラーゼを比色法、蛋白濃度をLowry法⁶⁾を用いて測定した。骨格筋組織中のヘキソキナーゼはEasterbyら⁷⁾の方法、クエン酸合成酵素はSrere⁸⁾の方法を用いて測定した。

結 果

表1にトレーニング後の最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)、95% $\dot{V}O_{2max}$ に相当する走速度での運動持続時間(95%-ET) および骨格筋組織の酵素活性値について平均値と標準偏差をまとめた。T群において、 $\dot{V}O_{2max}$ 、95%-ETは高い傾向であった。また、ヘキソキナーゼにはトレーニング効果は認められなかったが、クエン酸合成酵素はT群が高く、C群との差は腓腹筋と外側広筋(赤色部)において有意であった。

表2にトレーニング後の各群の体重、1日当たりの全トレーニング期間の平均飼料摂取量、全トレーニング期間の飼料効率、体重100g当たりの相対的腓重量、腓アミラーゼ活性値につ

Table 1 Effects of sprint training on aerobic capacity and skeletal muscle enzymes activities.

	sprint training	control
$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min)	87.0±6.8	85.0±4.2
exhaustive exercise time at 95% of $\dot{V}O_{2max}$ (min)	8.90±2.52	7.09±2.32
Citrate Synthase (μmol/min/g)		
Gastrocnemius	28.7±4.2*	24.6±1.7
Quadriceps femoris (red)	39.5±3.1**	33.7±2.8
Quadriceps femoris (white)	12.4±1.1	11.9±2.0
Hexokinase (μmol/min/g)		
Gastrocnemius	0.52±0.11	0.53±0.08
Quadriceps femoris (red)	0.45±0.11	0.43±0.08
Quadriceps femoris (white)	0.56±0.08	0.58±0.11

** : P < 0.01 * : P < 0.05

Table 2 Comparison of weight, food intake, food efficiency, pancreas weight and pancreatic amylase activity between sprint training group and control group.

	sprint training	control
weight (g)	331 ±14.7*	357.1±27.6
food intake (g/day)	19.37±1.26*	21.4 ±1.89
food efficiency ($\times 10^{-2}$)	3.756±1.232***	6.64 ±1.381
pancreas weight (mg/100gWT)	378.1±25.1	350.9±54.7
pancreatic amylase (IU/mg prot.)	135.5±37.0	144.8±19.7

*** : $P < 0.001$ * : $P < 0.05$

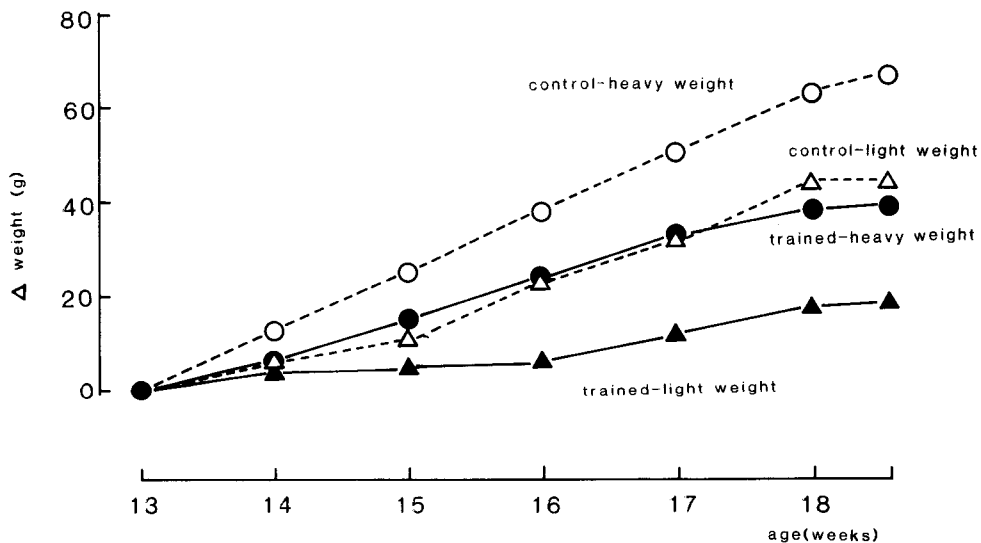


Fig. 1 Changes in body weight of 4 groups.

いて平均値と標準偏差をまとめた。体重、飼料摂取量、飼料効率はいずれもT群がC群に比較して有意に低く、トレーニングの影響が顕著であった。一方、膵重量及び、膵アミラーゼ活性値は個体差が大きく、T及びC群に有為な差は認められなかった。

そこで、各群を体重の伸びの大きかったもの（体重高群）と、そうでないもの（体重低群）と2群に分けて観察した。図1にT群、C群それぞれの体重高群、体重低群の体重の変化を

Table 3 Comparison of all parameters among the 4 groups.

	sprint training		control	
	light-weight	heavy-weight	light-weight	heavy-weight
weight (g)	317.8±6.3***	344.2±6.6	332.2±6.1***	382 ±15.8
food intake (g/day)	18.24±0.29***	20.5 ±0.73	19.92±0.66**	22.88±1.54
food efficiency (×10 ⁻²)	2.654±0.295***	4.858±0.721	5.722±0.844*	7.558±1.191
pancreas weight (mg/100gWT)	366.5±27.4	387.4±18.3	391.6±37.4*	310.2±35.5
pancreatic amylase (IU/mg prot.)	115.7±34.3	155.2±28.0	157.4±16.1*	132.2±14.1

***: p<0.001 **: p<0.01 *: p<0.05 light-weight vs heavy-weight

示した。T—体重高群とC—体重低群とはほぼ同様の变化を示し、トレーニングの影響には個体差が存在することが示された。これら4群の各パラメータを表3に示した。体重の差は飼料摂取量の多少に起因したものと考えられ、飼料効率についても、T、C群とも体重高群が体重低群に比較して有意に高かった。膵アミラーゼ活性値はT群では体重高群が体重低群に比較して高い傾向であるのに対して、C群では体重高群が体重低群に比較して有意に低く、傾向差が認められた。また、膵重量ではC—体重低群が他の群に比較して低かった。

考 察

短時間、高強度のスプリントトレーニングは速筋中の解糖系酵素活性を増加させ無酸素系代謝過程を亢進させることが報告されている⁹⁾。今回用いたトレーニング内容はDaviesら⁴⁾の方法に従ったものであったが、解糖系の酵素活性の増加は認められず、スプリント系のトレーニング効果を期待するには十分な内容ではなかったと考えられる。その要因としてトレーニングに用いたランニングスピードが遅かった点とトレーニング期間が5週間と短かった点が考えられる。さらに、実験開始時のラットの週齢が11週齢と他のトレーニング効果が認められた報告のそれと比較して高齢であったことも関与しているかも知れない。

しかし、一方で、高強度の持続的ランニング能力や最大酸素摂取量発現時のランニングスピードの増大が観察された。これは、速筋中のTCA回路系のクエン酸合成酵素活性の有意な増加が認められており、今回のトレーニングによって速筋のaerobic capacityの増大がもたらされたことに起因するものと考えられる。また、トレーニングにより体重増加の抑制及び飼料摂取量、飼料効率の低下が認められ、トレーニングの影響を検討するためのトレーニング

グ設定としては有効であったと考えられる。

運動習慣が摂食量に及ぼす影響について動物実験では、自発的な運動では安静群と比較して飼料摂取量が増加¹⁰⁾、強制的なトレーニングでは減少し¹¹⁾、体重の増加はいずれのトレーニングにおいても抑制されることが報告されている。今回の結果からもトレーニング群の飼料摂取量、体重は平均でコントロール群のそれらの90.5%、92.7%と低かった。また、飼料効率は56.6%と大きく低くトレーニングによる体重の抑制効果が観察された。しかし、これらの結果には個体差が非常に大きく、トレーニング群の体重高群とコントロール群の体重低群では、飼料摂取量、体重に差はなく大変興味深い。

膵腺房細胞内では膵消化酵素の合成及び分泌に摂食や絶食が影響することが知られている¹²⁾。これらの過程を誘導するコレシストキニン—パンクレオザイミン (CCK—PZ) やセクレチン等の消化ホルモンはおもに食物が胃から腸へ到達することによって脂肪酸やアミノ酸が刺激となって放出されるため、摂食は膵消化酵素の合成、分泌に対して促進に、絶食は抑制に作用する。Leeら¹³⁾、溝口ら¹⁴⁾はラットを用いて絶食の影響を検討し、絶食が経過するに従って膵組織中のアミラーゼ活性値が低下することを報告している。そのため、膵酵素活性値を検討する際には摂食との関連について考慮しなければならない。

糖尿病では膵内分泌機能の低下と同時に、膵酵素活性値及び分泌活性の減少が認められ、これらはインスリン治療により回復することが報告されている¹⁵⁾。また、肥満ラットではコレシストキニン刺激に対する膵腺房細胞の感受性の低下、膵重量の低下などの外分泌機能の低下が認められている¹⁶⁾。本研究におけるコントロール群の体重高群での膵アミラーゼ活性値、膵重量の低下は、おそらく運動不足及び過食による肥満傾向による膵外分泌機能の低下によるものと考えられる。

その他の3群の膵アミラーゼ活性値はトレーニングとの関連よりもむしろ飼料摂取量との関連が大きかった。しかし、溝口ら¹⁷⁾は、絶食ではなく、飼料摂取量を自由摂食群より50~80%に制限することによって膵アミラーゼ活性値が増加することを報告しており、これは、少ない摂取量でより多く体内に取り込もうとするための合目的な適応現象であろう。と考察している。また、Zsinkaら³⁾はラットに自発運動によるトレーニングを行わせて膵消化酵素活性値および分泌活性値の増大を認め、これらには迷走神経系が関与していることを報告した。これらのことから、トレーニング群の体重低群の膵アミラーゼ活性値の低下は摂食の低下によるものとするよりもトレーニングに用いた運動が高強度であったために過度のストレスとなり、摂食量の減少、体重の抑制、及び膵機能の低下をもたらしたのではないかと推察できる。

従来、運動が消化機能に与える影響は急性の軽度で適度な運動は促進に、高強度な激運動

では抑制に働くことが推察されている¹⁾。今回の結果からは、習慣的なトレーニングの影響について、高強度のトレーニングでは特に摂食量が低下して体重の増加が抑制される場合には腓外分泌系に抑制的な影響が及ぶことが示唆された。一方では高強度のトレーニングであっても、摂食量が確保されて（できて）いれば体重の増加も抑制されず、腓外分泌系も抑制されない可能性が示唆された。また、運動不足や過食による体重の超過が腓外分泌系に抑制的に影響を及ぼすことが示唆された。

今後、トレーニングの内容や摂食刺激後の腓外分泌応答などの検討を加え、運動習慣と消化機能との関連について明らかにしていきたい。

要 約

習慣的な運動（トレーニング）と消化機能との関連を追求する目的で、高強度、短時間のスプリントトレーニングが腓アミラーゼ活性値、腓重量等に及ぼす影響を検討して以下の結果を得た。

1. 最大酸素摂取量、高強度スピードでの疲労困憊に至るまでの走行時間はトレーニング群で大であったが、有意な差はなかった。
2. 骨格筋中のクエン酸合成酵素活性値はトレーニング群で高く、コントロール群との差は腓腹筋、外側広筋の赤色部で有意であったのに対し、ヘキソキナーゼはいずれの筋においても両群に差はなかった。
3. 体重、飼料摂取量、飼料効率 はトレーニング群で有意に低かったが、腓重量、腓アミラーゼ活性値には両群には差はなかった。
4. 両群を、それぞれ体重の伸びの良かった群とそうでなかった群に分けて検討すると、飼料摂取量、飼料効率は体重と同様に有意差が認められ、腓重量、腓アミラーゼ活性値はトレーニング群では体重の大小と一致した傾向であったのに対して、コントロール群では反対に体重高群で有意に低い結果であった。

以上の結果から、習慣的な高強度のトレーニングは摂食量の減少や体重の抑制が観察される例では腓外分泌機能に抑制的な影響が及ぶこと、言い換えれば、高強度のトレーニングであっても摂食量が確保されていれば抑制的な影響は少ない可能性が示唆された。また一方では、運動不足や過食による体重の超過は腓外分泌機能に抑制的に影響を及ぼすことが示唆された。

参考文献

1. Sullivan, S.N., M.C. Charnpion, N.D. Christofides, T.E. Adrian, and S.R. Bloom, Gastrointestinal regulatory peptide responses in longdistance runners, *The Physiscain and Spotsmedicine*, 12:77-82, 1984.
2. Kuznetsov, A.P., Secretory adaptation to muscle activity by the stomach and pancreatic gland, *Soviet Sports review*, 24:190-192, 1989.
3. Zsinka, A.J.N., and R. Frenkl, Exocrine function of the pancreas in regularly swimming rats, *Acta Physiologica Hungarica*, 62:123-129, 1983.
4. Davies, K.J.A., L. Packer, and G.A. Blooks, Exercise bioenergetics following sprint training, *Arch. Biochem. Biophys.*, 215:260-265, 1982.
5. Bedford, T.G., C.M. Tipton, N.C. Wilson, R.A. Oppliger, and C.V. Gisolfi, Maximum oxygen consumption of rats and its changes with various experimental procedures, *J. Appl. Physiol.*, 47:1278-1283, 1979.
6. Lowry, O.H., N.J. Rosebrough, A.L. Farr, and R.J. Randall, Protein measurement with the Folin phenol reagent, *J. Biol. Chem.*, 193:265-275, 1951.
7. Easterby, and Qadri, *Methods Enzymol.*, 90:11-15, 1982.
8. Srere, *Methods Enzymol.*, 13:3-6, 1969.
9. Staudte, H.W., G.U. Exner, and D. Pette, Effects of short-term, high intensity (sprint) training on some contractile and metabolic characteristics of fast and slow muscle of the rat, *Pflugers Arch.*, 344:159-168, 1973.
10. Rodnick, K.J., G.M. Reaven, W.L. Haskell, C.R. Sims, and C.E. Mondon, Variations in running activity and enzymatic adaptation in voluntary running rats, *J. Appl. Physiol.*, 66:1250-1257, 1989.
11. Katch, V.L., R. Martin, and J. Martin, Effects of exercise intensity on food consumption in the male rats, *Am. J. Clin. Nutr.*, 32:1401-1407, 1979.
12. Pitchumoni, C.S., G. Scheele, P.C. Lee, and E. Lebenthal, Effects of nutrition on the exocrine pancreas, in: *The exocrine pancreas*, edited by V.L.W. Go et al., pp 387-406, Raven Press, New York, 1986.
13. Lee, P.C., S. Brooks, and E. Lebenthal, Effect of fasting and refeeding on pancreatic enzymes and secretagogue responsiveness in rats, *Am. J. Physiol.*, 242:G215-G221, 1982.
14. 溝口順二、宮本康夫、今道友則、絶食に伴うラット膵アミラーゼ活性の低下、*日本栄養・食糧学会誌*, 39:169-174, 1986.
15. Soling, H.D., and K.O. Unger, The role of insulin in the regulation of α -amylase synthesis in the rat pancreas, *Eur. J. Clin. Invest.*, 2:199-212, 1972.
16. McLaughlin, C.L., S.R. Peikin, and C.A. Baile, Decreased pancreatic exocrine response to cholecystokinin in Zucker obese rats, *Am. J. Physiol.*, 242-G612-G619, 1982.
17. 溝口順二、山田茂夫、制限給餌飼育ラットにおける膵外分泌機能の亢進、*日本栄養・食糧学会*

誌、39：29-34、1986。

(本学専任講師)